



А. И. ВОЛОШИН,
член-корр. НАН Украины
(ИГТМ НАН Украины,
Институт стратегических технологий
им. академика С. Н. Конюхова)



О. В. РЯБЦЕВ,
канд. техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)



М. В. БАРАБАШ,
инж.
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



А. В. ВИВЧАРЕНКО,
канд. техн. наук
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



А. И. КОВАЛЬ,
канд. техн. наук
(ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

УДК 622.261.27

Обоснование ширины угольного целика между подготовительной выработкой и выработанным пространством отработанной лавы

Приведены результаты комплексного геомеханического прогноза состояния вмещающих пород в окрестности подготовительной выработки при отработке выемочного столба лавы, на основании которого обоснована ширина угольного целика между подготовительной выработкой смежного выемочного столба и выработанным пространством отработанной лавы в шахте им. Н. И. Сташкова. Сопоставлены прогнозные значения высоты выработки с данными маркшейдерской съемки.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние горных пород; охрана и поддержание подготовительных выработок; конвергенция; угольный целик.

Контактная информация: worldlab.eg@gmail.com.

Актуальность и постановка задачи. Ведение добычных работ в шахтах чрезвычайно осложняется отсутствием достаточных знаний о структуре и свойствах пород, которые часто насыщены газом и нередко обводнены, тектонически нарушены, находятся в условиях высоких сжимающих напряжений и процессов сдвижений.

Поскольку запасы угля, пригодные для добычи, исчерпываются, актуальными становятся вопросы рационализации технических решений, направленных на уменьшение вынужденных его потерь в целиках разного назначения, что позволяет увеличить экономическую и производственную эффективность работы добычных участков. В частности, при отработке лавы № 633, проводимой по пласту c_6 шахты им. Н. И. Сташкова ПСП «Шахтоуправление «Днепровское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», в результате вывала вмещающих пород в сборном штреке № 633 часть выработки пришла в неудовлетворительное состояние. Кроме этого, развитие зоны неупругих деформаций во вмещающих породах и угроза повторных вывалов не дает возможности повторно использовать данную выработку для отработки смежного выемочного столба. Поэтому для отработки смежной лавы № 631 необходимо вприсечку к сборному штреку № 633 пройти бортовой штрек № 631, обеспечив при этом минимальные потери угля в целике между выработками и устойчивое состояние самой выработки для бесперебойной работы лавы.

Ширина угольного целика при проведении подготовительных выработок вприсечку к выработанному пространству рассчиты-

вается в соответствии с СОУ 10.1.00185790.011 (п. 5.5.2.7) [1]. Однако данная методика не учитывает осложняющих горно-геологических факторов в виде куполов и вывалов, образующихся в процессе ведения горных работ, поэтому в рассматриваемом случае ее нельзя использовать для получения обоснованных параметров ширины угольного целика между смежными выемочными столбами.

Исходя из изложенного, чтобы обосновать ширину технологического целика, обеспечивающего устойчивость для бесперебойной работы лавы № 631, следует применять методологию, апробированную для горно-геологических и горнотехнических условий шахт Западного Донбасса.

Комплексный геомеханический прогноз.

Для решения этой научно-прикладной задачи используют разработанную ведущими отечественными учеными-горняками специально применительно к горно-геологическим и горнотехническим условиям отработки угольных месторождений подземным способом в Украине методологию определения рациональных технологических параметров ведения горных работ, основанную на положениях механизма сдвижения слоистого разномодульного горного массива [2]. Данная методология реализована в виде программно-технологического комплекса «Технология стратегического планирования развития горных работ»[©] (далее – Технология), посредством которого осуществляется выбор рациональных технологических параметров при решении конкретной горнотехнической задачи [3].

Технология апробирована во всех угледобывающих районах – от Западного Донбасса с его уникальными горно-геологическими условиями, где вмещающие породы имеют слабую степень метаморфизма, неустойчивы, обводнены, трещиноваты и пр., до Восточного Донбасса, условия которого характеризуются сильной степенью метаморфизма вмещающих пород, их широким спектром устойчивости (от неустойчивых до труднообрушаемых), большой глубиной разработки (свыше 1000 м), а также высокой газообильностью и др. Данная Технология позволяет еще на стадии проектирования осуществлять комплексный геомеханический прогноз изменения напряженно-деформированного состояния углепородного массива и подбирать рациональные технологические

параметры ведения горных работ, обеспечивающие максимальную для конкретных условий производственно-экономическую отдачу [4].

Численное моделирование изменения геомеханического состояния углепородного массива для данной задачи выполнялось в два этапа. На первом этапе рассматривались закономерности напряженно-деформированного состояния (НДС) пород в окрестности сборного штрека № 633 в характерных условиях его эксплуатации: вне зоны влияния горных работ лавы; в зоне влияния горных работ лавы № 633; в выработанном пространстве лавы № 633. Исследования первого этапа позволяют сделать выводы о минимальных размерах угольного целика между выработанным пространством лавы № 633 и проводимым для отработки лавы № 631 бортовым штреком № 631, а также оценить состояние сборного штрека № 633. На втором этапе исследовали особенности изменения НДС массива горных пород с учетом проведения бортового штрека № 631, что позволило выполнить прогноз его состояния вплоть до погашения вслед за подвиганием лавы.

Изменения НДС массива горных пород исследовали согласно данным геологоразведочных скважин № 6889, НЗ-4788 и НЗ-4784 с учетом изменения горно-геологических условий вдоль выемочного столба лавы № 633 и горно-геологического прогноза. Более подробно остановимся на результатах, полученных для скважины № НЗ-4788, в которой в сборном штреке № 633 произошел вывал вмещающих пород, что стало основным осложняющим фактором для обоснования размера угольного целика.

Результаты исследований основных геомеханических процессов в окружающих породах в окрестности сборного штрека № 633 (вне зоны влияния лавы в горно-геологических условиях скважины № НЗ-4788) показывают, что активные геомеханические процессы будут протекать в течение приблизительно 250 сут с момента проведения. В интервале времени T , равном 250–500 сут, изменение параметров опорной зоны будут минимальными, о чем свидетельствует наложение кривых на рис. 1.

Ширина опорной зоны будет изменяться от 4,5 м в начале своего формирования и достигать 8 м на момент затухания основных геомеханических процессов. Максимальные значения нормальных нагрузок будут сосредоточены на

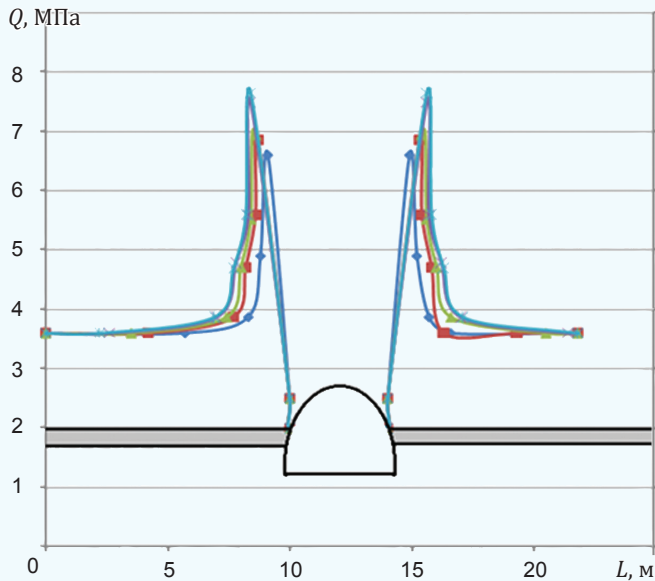


Рис. 1. Закономерности распределения нормальных нагрузок Q в окрестности сборного штрека № 633 вкrest его простирания L вне зоны влияния лавы № 633 в горно-геологических условиях скважины № НЗ-4788: —♦— $T = 0$; —■— $T = 50$ сут; —▲— $T = 100$ сут; —×— $T = 250$ сут; —*— $T = 500$ сут.

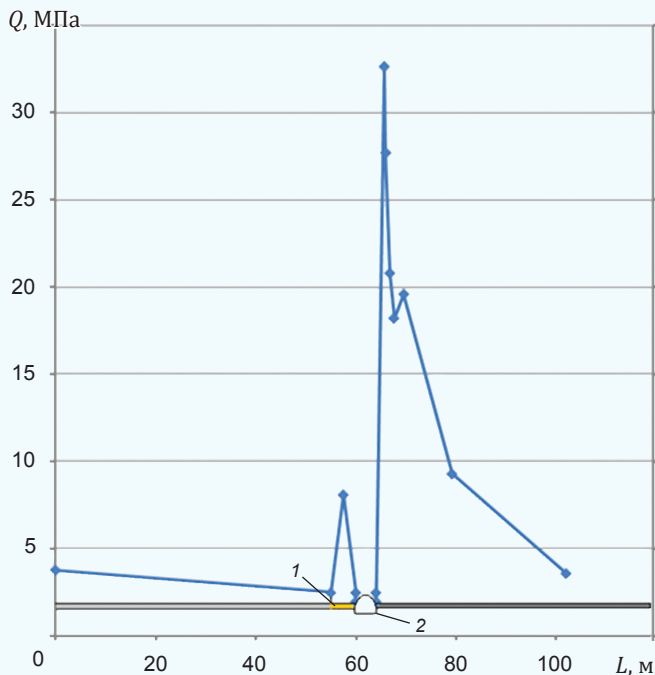


Рис. 2. Закономерности распределения нормальных нагрузок Q в окрестности сборного штрека № 633 вкrest его простирания L в опорной зоне и на сопряжении с лавой № 633 пласта c_6 для горно-геологических условий скважины № НЗ-4788: 1 – охрannое сооружение со стороны лавы № 633; 2 – сборный штрек № 633.

участке до 3 м от границы контура выработки, где будет развиваться зона неупругих деформаций в горных породах.

В исследованных горно-геологических условиях скважины № НЗ-4788 вне зоны влияния лавы вертикальная конвергенция согласно расчетам составит порядка 430 мм, из которой опускания кровли – до 240 мм, поднятия подошвы – до 190 мм.

Результаты численного моделирования изменения напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в окрестности сборного штрека № 633 в зоне влияния до сопряжения с лавой № 633 пласта c_6 для условий скважины № НЗ-4788 приведены на рис. 2. Зона влияния лавы будет распространяться приблизительно на 38 м вглубь массива как по ходу движения лавы, так и в сторону от нее (в поле смежного выемочного столба лавы № 631). Максимальная нормальная нагрузка в опорной зоне составит около 32 МПа и будет находиться на расстоянии 2–3 м от границы выработки в глубине массива.

Результаты численного моделирования изменения закономерностей формирования стационарной опорной зоны у границ сборного штрека № 633 при отработке лавы № 633, проводимой по пласту c_6 в зависимости от расстояния отхода лавы L от рассматриваемого сечения приведены на рис. 3. Размеры отхода при моделировании изменялись до тех пор, пока разница между соответствующими параметрами Q не превысит 5 %, что свидетельствует о затухании активных геомеханических процессов и окончательном формировании границ стационарной опорной зоны.

Согласно данным проведенных исследований в горно-геологических условиях скважины № НЗ-4788, максимальная нормальная нагрузка будет уменьшаться от 22,5 МПа при отходе лавы на 50 м до 14,5 МПа при отходе лавы на 350 м. При этом максимум стационарной опорной зоны во время ее отхода до 50 м будет на расстоянии 3,2 м от контура выработки на уровне слоев непосредственной кровли, что вызовет их разрушение вплоть до угольного пласта c_6^1 . Вес обрушенных пород согласно расчетам будет таким: чтобы породы удержать, плотность крепления должна быть порядка пяти рам на 1 м длины выработки, в противном случае крепь деформируется. При размокании пород, которые теряют при этом свою несущую способность,

стойки крепи будут вдавливаться в подошву вплоть до ее смыкания с кровлей. После разрушения слоев непосредственной кровли максимум стационарной опорной зоны сместится вглубь массива до 22,3 м, а ширина зоны увеличится до 55,7 м. Максимальные нормальные нагрузки в стационарной опорной зоне сосредоточатся на участке 8–30 м в глубине массива.

На основании проведенных исследований получены значения распространения зоны неупругих деформаций вглубь массива в окрестности сборного штрека № 633: для горно-геологических условий скважины № 6889 – 5,1 м, для скважины № НЗ-4788 – 3,1 м (без учета вывала) и 6,5 м (с учетом вывала) и для скважины № НЗ-4784 – 2,6 м.

Схема с прогнозными значениями границ технологического целика между сборным штреком № 633 и бортовым штреком № 631 вкrest L_B и по их простиранию L_{II} приведена на рис. 4.

Таким образом, технологический целик между сборным штреком № 633 и бортовым № 631 не должен быть ближе указанных значений зоны неупругих деформаций, иначе возможно разрушение вмещающих пород при проведении бортового штрека № 631 и вывалы пород в выработку. Однако целик не должен превышать минимальное расстояние до зоны повышенных нормальных нагрузок в стационарной опорной зоне, иначе выработка будет проводиться в зоне повышенного горного давления (ПГД), что негативно скажется на условиях ее поддержания, или же размеры технологического целика должны превышать расстояние, на которое распространяются повышенные нормальные нагрузки в стационарной опорной зоне.

Проведенные исследования изменения НДС вмещающих пород в окрестности сборного штрека № 633 в характерных условиях его эксплуатации позволили, кроме прочего, оценить его состояние, т. е. получить прогнозные значения изменения его высоты вдоль выемочного столба лавы.

В соответствии с приведенными результатами максимальная вертикальная конвергенция вдоль выемочного столба лавы № 633 пласта c_6 в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий прогнозируется на уровне 1900–2300 мм, т. е. остаточная высота выработки должна составлять порядка 1800–1400 мм.

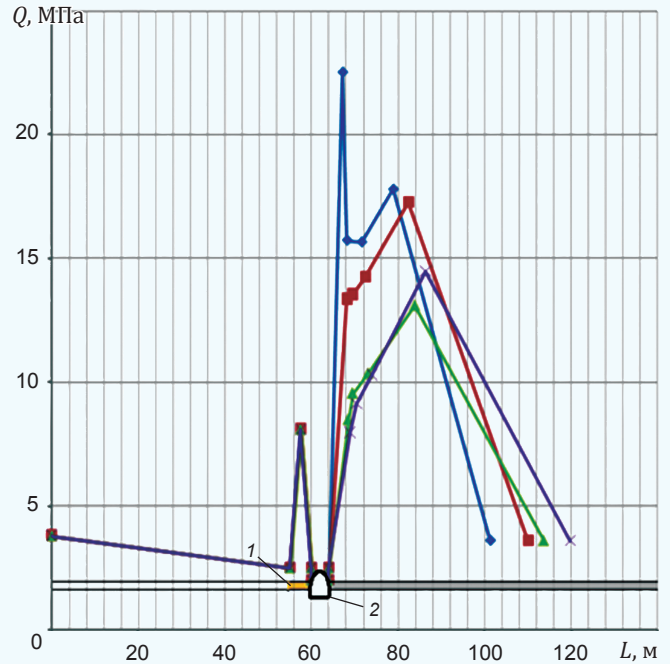


Рис. 3. Закономерности изменения нормальных нагрузок Q в стационарной опорной зоне вкrest простирания L сборного штрека № 633 по мере отхода лавы № 633, проводимой по пласту c_6 в горно-геологических условиях скважины № НЗ-4788: 1 – охрannое сооружение со стороны лавы № 633; 2 – сборный штрек № 633; —♦— $L = 50$ м; —■— $L = 100$ м; —▲— $L = 200$ м; —×— $L = 350$ м.

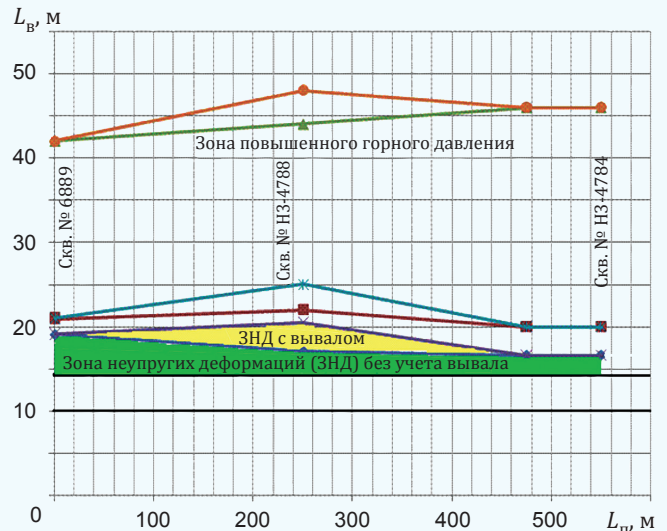


Рис. 4. Схема для заложения границ технологического целика с учетом вывала: —♦— граница ЗНД без учета вывала; —×— то же, с учетом вывала; —▲— дальняя граница зоны ПГД без учета вывала; —○— то же, с учетом вывала; —*— ближняя граница зоны ПГД с учетом вывала; —■— то же, без учета вывала.

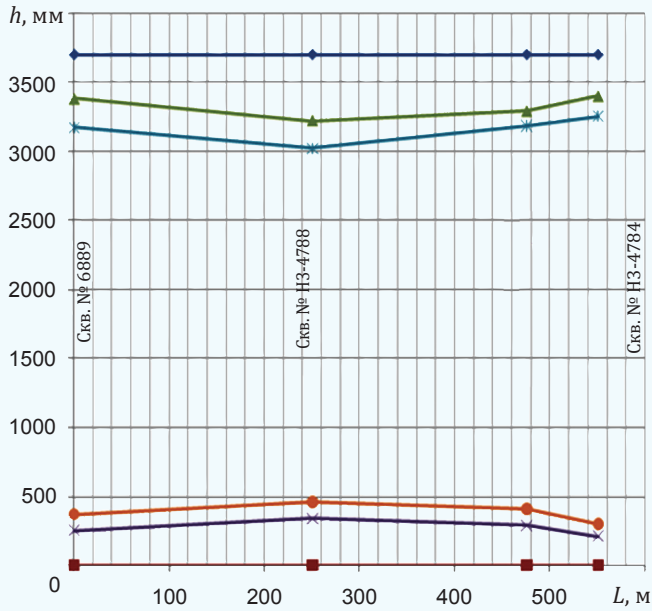


Рис. 5. Прогнозная высота h бортового штрека № 631 вдоль простирания L в характерных условиях его поддержания: —♦— проектное положение кровли; —■— то же, подошвы; —▲— положение кровли вне зоны влияния лавы; —×— то же, подошвы; —*— положение кровли на сопряжении с лавой; —○— то же, с подошвой.

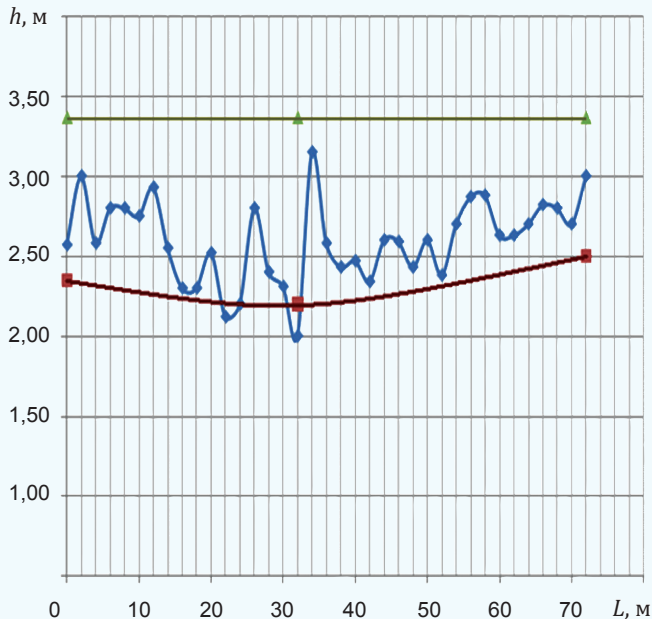


Рис. 6. Сопоставление данных по высоте h бортового штрека № 631 на основании результатов маркшейдерской съемки и соответствующих прогнозных значений вне зоны влияния лавы: —♦— фактические замерные значения высоты, м; —■— то же, прогнозные, м; —▲— паспортная высота при проведении, м.

Однако породы непосредственной подошвы имеют малую прочность ($f = 1,3$), склонны к размоканию и потере несущей способности при наличии водопритока в выработку. Поэтому при больших нагрузках на крепь со стороны свода обрушившихся пород, вес которого согласно результатам расчетов составит до 1,4 МПа, стойки металлической крепи выработки будут вдавливаться в породы подошвы, что приведет к существенному уменьшению остаточной высоты выработки вплоть до непроходимости по условиям Правил техники безопасности.

Сравнение расчетной высоты сборного штрека № 633 в горно-геологических условиях скважины № НЗ-4784, которая составляет около 2,4 м вне зоны влияния лавы, с усредненными фактическими замерами высоты выработки от головки рельса 2,15 м между ПК 89 и ПК 76, взятыми из Журнала замера состояния горных выработок, показало, что отклонение составляет около 15 %.

Как видно из данных, приведенных на рис. 5, прогнозная остаточная высота бортового штрека № 631 в окне лавы № 631 пласта c_6 составит 2500–2800 мм для выработки, закрепленной крепью КШПУ-13,8, т. е. она должна находиться в удовлетворительном рабочем состоянии, но с поправкой на попадание воды на подошву выработки с ее размоканием и потерей несущей способности, как и в сборном штреке № 633.

Чтобы избежать вывалов при проведении бортового штрека № 631 в целях упрочнения вмещающих пород со стороны отработанной лавы № 633, было выполнено химическое анкерование пород кровли и подошвы со стороны выработанного пространства на опасном участке общей длиной не менее 60 м (10 м зона вывала, по 25 м вверх и вниз вдоль трассы выработки).

По мере эксплуатации выработки непрерывно велись визуальные и инструментальные наблюдения в целях отслеживания изменения непосредственно состояния и проверки точности прогнозных значений ее остаточной высоты. Сопоставление данных высоты бортового штрека № 631 на основании результатов маркшейдерской съемки, произведенной 3 ноября 2016 г., и соответствующих прогнозных значений, зафиксированных в ходе выполнения работ до начала проведения выработки, показано на рис. 6.

Анализ данных рис. 6 позволяет констатировать, что средняя фактическая высота выра-

ботки составляет 2,6 м при прогнозируемой 2,35 м, т. е. среднее отклонение прогнозных значений от фактических не превышает 10 %, если максимальное отклонение 25,4 %. Площадь среднего сечения выработки всвету составляет 7,7 м² – выработка находится в хорошем рабочем состоянии и в полной мере выполняет свое функциональное назначение, что подтверждает визуальный осмотр. Практически на всем ее протяжении отсутствуют деформации элементов крепи, даже в опасной зоне, примыкающей к вывалу, благодаря проведению химического анкерования. Визуальное состояние бортового штрека № 631 на самом неблагоприятном участке для его поддержания (район ПК 28) показано на рис. 7.

Выводы. Результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в окрестности сборного № 633 и бортового № 631 штреков с использованием Программно-технологического комплекса «Технология стратегического планирования развития горных работ» позволили определить закономерности НДС изменения в характерных условиях их эксплуатации и обосновать на этой базе минимально возможные размеры угольного целика между выработанным пространством лавы № 633, проводимой по пласту c_6 , и бортовым штреком № 631 смежного выемочного столба по геомеханическому фактору. Исследования дали возможность оценить состояние подготовительных выработок, в частности значение конвергенции, и предложить некоторые практические рекомендации для улучшения условий поддержания бортового штрека № 631 с минимальными эксплуатационными затратами, а также определить минимально возможные параметры технологического целика для проведения бортового штрека № 631 вне зоны неупругих деформаций углепородного массива, образованной при отработке выемочного столба лавы № 633, на всем протяжении выработки. Это, помимо существенного уменьшения потерь угля в технологическом целике, помогло избежать вывалов породы и угля в выработку во время проходки, обеспечить установку и работу арочной податливой крепи в паспортном режиме без преждевременной деформации ее элементов.

Инструментальные и визуальные наблюдения за состоянием выработки показали, что средние



Рис. 7. Состояние бортового штрека № 631 на самом неблагоприятном участке для его поддержания (район ПК 28).

отклонения прогнозных значений ее высоты не превышают 10 % фактических, замеренных при проведении маркшейдерской съемки, что свидетельствует о высокой точности прогнозных значений параметров НДС горных пород, получаемых с помощью Технологии [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Підготовчі виробки на пологих пластах, вибір кріплення, способів і засобів охорони: СОУ 10.1.00185790.011:2007. – Офіц. вид. – К.: Мін-во вугільної пром-сті України, 2007. – 115 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України).
2. Волошин А. И. Методология определения рациональных технологических параметров ведения горных работ / А. И. Волошин, А. Ф. Булат, О. В. Рябцев, А. И. Коваль // Уголь Украины. – 2010. – № 10. – С. 15–18.
3. Волошин А. И. Технология стратегического планирования развития горных работ / А. И. Волошин, А. Ф. Булат, О. В. Рябцев, А. В. Савостьянов // Уголь. – 2011. – № 2. – С. 22–25.
4. Волошин А. И. Технология стратегического планирования развития горных работ / Стратегічне планування розвитку гірничих робіт: матеріали наук.-практ. семінару // Інформ. бюл. з охорони праці. – 2013. – № 1. – С. 52–69.